

TNO-rapport  
TNO-MEP - R 98/268

TNO Milieu, Energie  
en Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn  
  
Telefoon 055 - 549 34 93  
Fax 055 - 541 98 37

**Het testen van een 1 kW De Nora vaste  
polymeer elektrolyt brandstofcel in  
combinatie met een loodzwavelzuuraccu  
Eindrapport**

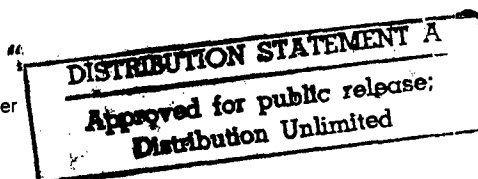
Datum  
september 1998

Auteur(s)  
Ing. C.E. Kluiters  
Ir. W.R. ter Veen  
Dr. Ir. D. Schmal

Projectnummer  
28563

TNO-DO opdrachtnummer  
A97/KM/149

Bestemd voor  
Koninklijke Marine  
TNO Defensieonderzoek



19990126 154

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uit-  
gebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de Al-  
gemene Voorwaarden voor on-  
derzoeksopdrachten aan TNO, dan  
wel  
de betreffende terzake tussen de par-  
tijten gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct be-  
langhebbenden is toegestaan.

© 1996 TNO

Rubricering

Vastgesteld door:	Ir. I.P. Barendregt (projectbegeleider)
Vastgesteld d.d.:	28 augustus 1998
Titel	ongerubriceerd
Managementuittreksel	ongerubriceerd
Samenvatting	ongerubriceerd
Rapporttekst	ongerubriceerd
Bijlage A	ongerubriceerd
Oplage	16
Aantal pagina's	20
Aantal bijlagen	1

DTIC QUALITY INSPECTED 1



AQF 99-04-0707

## Management uittreksel

Titel : Het testen van 1 kW De Nora vaste polymeer elektrolyt brandstofcel in combinatie met een loodzwavelzuuraccu Eindrapport

Auteurs : Ing. C.E. Kluiters  
Ir. W.R. ter Veen  
Dr. Ir. D. Schmal

Datum : 14 september 1998

Opdrachtnummer : A97/KM/149

IWP nummer : 980352

Rapportnr. : R 98/268

De ontwikkeling van brandstofcellen voor aandrijving en stationaire toepassing is de laatste jaren in een versnelling geraakt ten gevolge van de steeds strengere emissie-eisen. Door deze snelle ontwikkelingen is er zicht op commerciële toepassing op een termijn van 5 à 10 jaar hetgeen onder andere betekent dat de brandstofcel in principe in aanmerking komt voor opwekking van elektrische energie op de komende generaties schepen die momenteel in ontwikkeling zijn.

In het kader van een in 1994 opgestart project voor de Koninklijke Marine vindt een brede oriëntatie plaats met betrekking tot de toepassingsmogelijkheden van brandstofcellen op schepen zowel voor energievoorziening van elektrische systemen aan boord bij gescheiden elektriciteitsopwekking en voortstuwingsinstallaties als voor geïntegreerde energieopwekkings- en voortstuwingsinstallaties.

In 1994 is een systeemstudie uitgevoerd, waaruit blijkt dat door toepassing van brandstofcellen een energiebesparing van tientallen procenten op (marine)schepen mogelijk is. Op grond van diverse aspecten is de polymere brandstofcel (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC) als meest in aanmerking komend type voor gebruik op schepen gekozen.

Bij toepassing van brandstofcellen en de integratie ervan in een scheepssysteem is de combinatie met een accu belangrijk, omdat in vrijwel alle scheepstoepassingen deze combinatie van energie-opwekking en -opslag zal voorkomen. Om inzicht te krijgen in de hierbij mogelijk optredende problemen, zijn bij TNO enige oriënterende testen met een brandstofcel accu combinatie uitgevoerd. Het onderhavige rapport beschrijft deze testen met hun resultaten en conclusies:

- De integratie van een accu met een brandstofcel in één systeem kent als belangrijk probleem dat de spanningen en stroom-spanningskarakteristieken van beide componenten meestal dermate verschillend zijn dat ze niet zonder

meer aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Daarom is in het algemeen de toepassing van een DC/DC omvormer noodzakelijk. Doordat DC/DC omvormers in het algemeen voor één specifiek systeem worden ontworpen, zijn deze echter veelal duur en zeer specifiek in hun toepassingsmogelijkheid. Dit betekent dat ze zo mogelijk vermeden dienen te worden.

- Bij de testen bij TNO bleek dat de spanningen van de gekozen accu en de brandstofcel goed op elkaar waren afgestemd, waardoor het mogelijk was om de accu direct aan de brandstofcel te koppelen. Een DC/DC omvormer en ook een diode konden achterwege worden gelaten. De toepassing van een chopper of een andere DC/DC omvormer is daarom, mede vanwege het oriënterende karakter van het onderhavige project, niet getest.
- Bij het aansluiten van de brandstofcel op de accu, getest bij verschillende ladingstoestanden van de accu, bleek initieel een hoge stroom te lopen die automatisch afnam met toenemende SOC tot de gebruikelijke waarde van de nalaadstroom.
- Bij een test met toenemende belasting (dynamisch) werd een lineair stroomverloop als functie van deze belasting gevonden. Geconcludeerd kan worden dat het mogelijk is om een brandstofcel direct te koppelen aan een accu, mits de spanningen van deze componenten goed overeenkomen.
- In de praktijk zal echter in het algemeen de brandstofcel en/of de accu via omvormers gekoppeld worden aan een centrale leiding voor het transport van elektrische energie van en naar de verschillende componenten (bus bar). Omvormers zullen hier standaard worden toegepast, niet alleen om spanningsniveau's op elkaar aan te passen, maar ook voor fijnregeling van spanningen (bijv. kleinere range), uit veiligheidsoverwegingen (bijv. bij kortsluitingen), om het (na)laden van de accu vanuit de brandstofcel te kunnen onderbreken, e.d. Voor opbouw van dergelijke systemen is een multidisciplinaire aanpak met inbreng van elektrotechnische bedrijven en/of kennisinstuten gewenst.
- Uit contacten met specialisten blijkt dat de trend bestaat om dure en speciaal ontworpen choppers achterwege te laten en de aan te sluiten systemen zo te kiezen dat choppers niet nodig zijn. Dit is mede het geval door de ontwikkeling van andere, meer geavanceerde en goedkopere typen DC/DC omvormers.
- Omdat in de praktijk DC/DC omvormers veelal nodig zullen zijn verdient het aanbeveling om vervolgonderzoek uit te voeren, waarbij dit aspect wordt meegenomen. Een eerste stap hiertoe zou gezet kunnen worden door samen met TNO-PML (Platformtechnologie) (een deel van) het boordnet te simuleren met een brandstofcel (1-5 kW) en een daarop aangepaste batterij, inclusief de benodigde DC/DC omvorming, regeltechniek etc..

## Executive summary

Title : Testing of a 1 kW De Nora solid polymer electrolyte fuel cell for application on naval surface ships.  
Final report.

Authors : C.E. Kluiters, W.R. ter Veen, D. Schmal

Date : September 14, 1998

Contract number : A97/KM/149

IVP nummer : 980352

Report number : R 98/268

The development of fuel cells for traction accelerated the last years because of severed emission demands for road vehicles. Because of these rapid developments a commercial application in 5 to 10 years is feasible which means that the fuel cell can be used for the generation of electric energy on board of naval ships currently being developed.

In the framework of a project started in 1994 for the Royal Netherlands Navy a broad orientation has taken place in the field of the possible applications of fuel cells on ships for energy supply of electrical systems on board in case of separated electricity generation and traction installations and incase of integrated energy generation and traction installations.

In 1994 a system study has been executed from which it was concluded that in case of application of fuel cells an energy saving of tens of percents on (naval) ships is possible. On the basis of several aspects the polymer electrolyte fuel cell (PEFC) has been chosen as the best type for use on board of ships.

Application and integration of fuel cells into a ship system makes the combination with a battery very important, because in almost all ship applications this combination of energy generation and storage will be present. To gain insight into the possible problems that can occur, some tests were done with the combination of a battery and a fuel cell at TNO. This report describes these tests their results and conclusions:

- The integration of a battery and a fuel cell in one system has an important problem, which is that the voltages of both components are usually that different that the components can not be connected with each other, without the use of a DC/DC converter. However because DC/DC converters are usually designed for one specific system, they are expensive and very specific for a small application range. This means that, if possible, they should not be applied.

- The tests at TNO showed that the voltages of the chosen battery and the fuel cell matched well so they could be connected directly. A DC/DC converter and also a diode were not needed. Because of this and the limited orientating character of the project described, the application of a chopper or other DC/DC converter was not tested so far.
- At connecting the fuel cell and the battery, tested at different SOC of the battery, it has been shown that initially the battery was charged with a high current that decreased automatically with increasing SOC down to the normal trickle charging current.
- During a test with increasing load of the system it was shown that both components increased their current linearly. So the conclusion is that it is possible to connect a battery directly to a fuel cell, but only if the voltages of both components are nearly the same.
- In practice, generally the fuel cell and/or the battery will be connected to the bus bar, for the transport of electrical energy to and from the different components, via DC/DC converters. Here, converters will be applied standardly, not only to match different voltage levels, but also for the fine control of voltages (e.g. smaller range), because of safety reasons (e.g. short circuit), to interrupt the charging of the battery by means of the fuel cell, etc. For the construction of such systems a multi-disciplinary approach, especially with input from electrotechnical companies or institutes, is needed.
- From contacts with specialists the trend appears to exist not to use the expensive and specially designed choppers anymore, but to choose more advanced concepts for DC/DC converters.
- Because in practice DC/DC converters will generally be required, it is advised to do further development and testing on combination of a battery with a fuel cell, including DC/DC converters. A first step could be to simulate (part of) the board electricity flows with a fuel cell (1-5 kW) and battery combination, including DC/DC converter, control strategies and equipment etc., together with TNO-PML-Platformtechnology for the electrotechnical input.

## Samenvatting

De ontwikkeling van brandstofcellen voor aandrijving is de laatste jaren in een versnelling geraakt ten gevolge van de steeds strengere emissie-eisen aan wegvoertuigen. Met name de vaste polymeer elektrolyt brandstofcel (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC) is een kansrijk type voor deze toepassing en ook voor toepassing op schepen.

Bij toepassing van brandstofcellen en de integratie ervan in een scheepssysteem is de combinatie met een accu belangrijk, omdat vrijwel altijd deze combinatie van energie-opwekking en -opslag in de praktijk zal voorkomen. Om inzicht te krijgen in de hierbij mogelijk optredende problemen, zijn bij TNO enige oriënterende testen met een brandstofcel-accu combinatie uitgevoerd. Het onderhavige rapport beschrijft deze testen met hun resultaten.

De uitgevoerde testen hebben betrekking op het laden van de accu met de brandstofcel (uitgaande van verschillende beginladingstesten) en het belasten van de accu-brandstofcelcombinatie met verschillende (continu toenemende) stroomsterkten. Er zijn geen proeven uitgevoerd met een DC/DC omvormer omdat de accu- en brandstofcelspanning op elkaar waren aangepast en vanwege het beperkte, oriënterende karakter van de onderhavige studie.

Uit de proeven bleek dat het mogelijk is om bij een goedgekozen spanningsniveau accu en brandstofcel direct aan elkaar te koppelen. In de praktijk zal dit echter veelal niet mogelijk zijn, zodat verder onderzoek nodig is met gebruik van DC/DC omvormer(s).

**Inhoudsopgave**

Management uittreksel.....2

Executive summary.....4

Samenvatting.....6

1. Inleiding.....7

2. Testopstelling.....9

3. Testresultaten.....11

3.1 Oriëntatie.....11

3.2 Brandstofcel + accu.....11

3.3 Brandstofcel + accu + DC/DC omvormer.....12

3.4 Brandstofcel + accu + belasting (Digatron).....12

4. Conclusies en aanbevelingen.....14

4.1 Conclusies.....14

4.2 Aanbevelingen.....15

5. Referenties.....16

6. Verantwoording.....17

Bijlage A Specificaties brandstofcel en accu.....18

Report Documentation Page

Distributielijst

## 1 Inleiding

De ontwikkeling van brandstofcellen voor aandrijving en stationaire toepassing is de laatste jaren in een versnelling geraakt ten gevolge van de steeds strengere emissie-eisen. Met name de vaste polymeer elektrolyt brandstofcel (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC) is een kansrijk type voor toepassing op schepen.

In het kader van een in 1994 opgestart project voor de Koninklijke Marine (eerste fase) vindt een brede oriëntatie met betrekking tot de toepassingsmogelijkheden van brandstofcellen op schepen zowel voor energievoorziening van elektrische systemen aan boord bij gescheiden elektriciteitsopwekking en voortstuwingsinstallaties als voor geïntegreerde energieopwekkings- en voortstuwingsinstallaties plaats.

In 1994 is een systeemstudie uitgevoerd, waaruit blijkt dat door toepassing van brandstofcellen een energiebesparing van tientallen procenten op (marine)-schepen mogelijk is [1,2]. Op grond van diverse aspecten is de polymere brandstofcel als meest in aanmerking komend type voor gebruik op schepen gekozen [1,2]. Dit leidde tot contacten met diverse potentiële leveranciers van dit type brandstofcel en hebben uiteindelijk geleid tot het leasen van een 1 kW PEFC stack van de firma De Nora (I) in 1995 (1<sup>e</sup> generatie standard design [3]) en in 1997 (2<sup>e</sup> generatie improved design) voor het opdoen van experimentele ervaring met dit type stack.

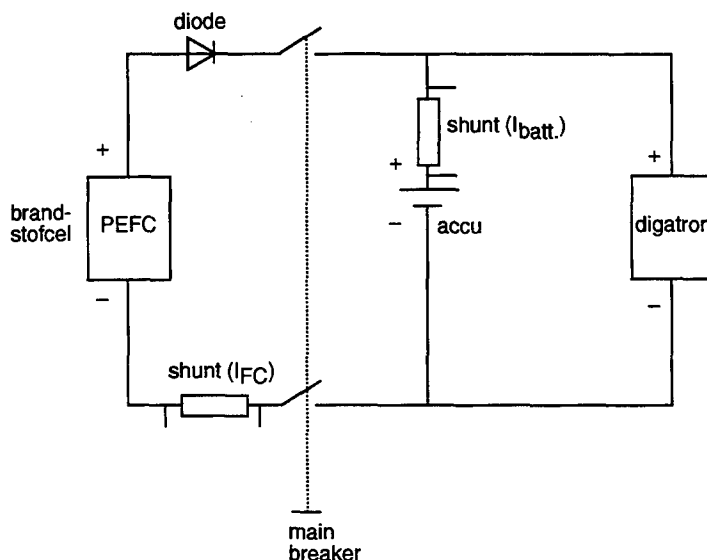
Bij toepassing van brandstofcellen en de integratie ervan in een scheepssysteem is de combinatie met een accu belangrijk, omdat uit allerlei overwegingen energie-opslagsystemen aan boord nodig zijn (peak shaving, leveren pulse power, e.d.). In dit kader zijn bij TNO enige testen met een brandstofcel accu combinatie uitgevoerd. Het onderhavige rapport beschrijft deze testen met hun resultaten.

In hoofdstuk 2 wordt de testopstelling besproken. De resultaten van de testen met de combinatie accu en brandstofcel worden besproken in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen.



## 2 Testopstelling

In figuur 1 is een schema van de testopstelling gegeven. Een brandstofcelstack met 5 cellen van het vaste polymeer elektrolyt type (5 V onbelast, 3,5 V bij 300 A nominale belasting; 1 kW nominaal vermogen (2<sup>e</sup> generatie improved design van De Nora (I))) is parallel geschakeld aan een loodzwavelzuuraccu bestaande uit 2 cellen in serie (OCV = 4,2 V, leverancier Hawker Varta). De spanningen van brandstofcel en accu zijn zo gekozen dat deze dicht bij elkaar liggen. De specificaties van de brandstofcelstack en accu zijn gegeven in bijlage A.



*Figuur 1. Schema van de testopstelling.*

De brandstofcel (PEFC) wordt via een main breaker (verbreekcontact) parallel geschakeld aan de accu en de Digatron (EVT 300-25; 0-300 A; 0-25 V). De Digatron is altijd aangesloten aan de accu, echter ontkoppeld via een interne main breaker. Een diode na de PEFC voorkomt dat de brandstofcel verkeerd belast wordt. Tevens zijn in het circuit 2 shunts opgenomen om de stroomsterkte van de brandstofcel en de stroomsterkte van of naar de accu te kunnen meten. Deze signalen (spanningen in mV van de shunts) werden op een tweekanaals x/t-recorder geregistreerd. De Digatron bezit een eigen stroommeting. De spanningen van de PEFC en accu direct op de polen werden geregistreerd door de Digatron. Theoretisch zouden deze spanningen bij parallel-schakeling aan elkaar gelijk moeten zijn. Echter in het circuit zijn diverse spanningsverliezen (shunts, bekabeling, diode) aanwezig, waardoor dit niet helemaal het geval is. De main breaker wordt met de hand bediend.

In het kader van het project hebben de in tabel 1 beschreven experimenten plaatsgevonden.

*Tabel 1      Overzicht experimenten.*

Experiment	PEFC	Accu	Digatron
1	dead-end configuratie	100% SOC	in serie tussen PEFC en Accu
2	dead-end configuratie	100 - 0% SOC	niet aangesloten
3	dead-end configuratie	SOC ca. 0% initieel	parallel als statische/ dynamische belasting

### **3 Testresultaten**

#### **3.1 Oriëntatie (experiment 1, tabel 1)**

De eerste experimenten die zijn uitgevoerd, bestonden uit het opladen van de batterij door de brandstofcel. Hiertoe is de eerder beschreven elektronische schakeling gebruikt, waarbij nadruk gelegd is op de veiligheid en het voorkomen dat de brandstofcel verkeerd belast werd. Vanwege de hoge drempelspanning van een diode (ca. 0,7 V) en het lage spanningsverschil tussen de brandstofcel en de accu zijn eerst experimenten uitgevoerd waarbij de Digatron in serie in het circuit is opgenomen als stroombegrenzer en main breaker waar dus alle veiligheden al ingebouwd zijn. Bij alle experimenten is de brandstofcel in dead-end configuratie bedreven (alle waterstof wordt gebruikt voor opwekking van elektrische energie). De Digatron is met constante spanning, constante stroom en constante weerstand bedreven. Bij deze experimenten bleek echter dat de Digatron een actief element is dat invloed uitoefent op het systeem. Hierdoor trad een ongewenste wisselwerking op tussen de brandstofcel en de Digatron: doordat zowel de brandstofcel als de Digatron een regelend element zijn, wordt geen operationeel evenwicht bereikt. Hierdoor konden geen relevante resultaten worden verkregen.

#### **3.2 Brandstofcel + accu (experiment 2, tabel 1)**

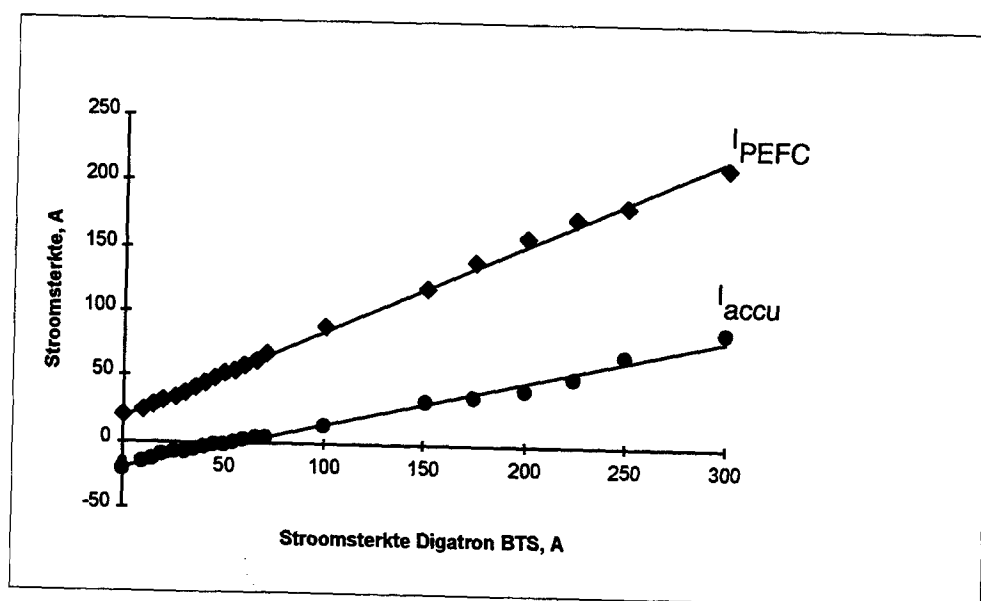
Hierbij is de brandstofcel direkt op de accu aangesloten zonder diode ertussen (berekeningen op grond van gegevens van de accu en de brandstofcel afzonderlijk gaven aan dat dit mogelijk moest zijn zonder nadelige effecten). Vanwege de veiligheid is begonnen met een experiment waarbij de accu zich in de 100% ladingstoestand bevond. Vervolgens is in volgende experimenten de SOC met stappen van 20% teruggebracht naar 0%. Hieruit bleek dat de stroom telkens van een initiële hoge waarde volgens een e-macht terug liep naar de waarde die door de accu-fabrikant werd aangegeven als nalaadstroom. De relaxatietijd en initiële stroomsterkte hingen af van de SOC van de batterij. Uit deze experimenten is naar voren gekomen dat de brandstofcel en de accu zodanig op elkaar waren afgestemd, dat deze op elkaar konden worden aangesloten zonder gebruik te maken van een DC/DC omvormer.

### **3.3 Brandstofcel + accu + DC/DC omvormer**

Bij aanvang van het project werd aangenomen dat een DC/DC omvormer (bijv. een chopper) nodig zou zijn voor de aansluiting van de brandstofcel op de accu. Voor de aanschaf van een chopper is contact geweest met diverse bedrijven die hierin gespecialiseerd zijn. Hieruit bleek dat voor de betreffende toepassing (lage spanning, hoge stroom) geen choppers bestaan. Deze zou dan moeten worden ontworpen. Naast tijd en geld kwam hierbij als probleem naar voren dat bij de lage spanningen van het onderhavige systeem, veel energie verloren zou gaan (door de drempelspanning van een chopper) en de resultaten niet representatief zijn voor de praktijk (waarbij veelal met spanningen van honderden Volts wordt gewerkt). Om een chopper te kunnen toepassen zou een groter spanningsverschil moeten bestaan (bijvoorbeeld een extra accu in serie). Als extra gegeven is het zo dat er door de complexiteit en prijs van choppers de trend bestaat om af te stappen van choppers en de aan te sluiten systemen zo te kiezen en op elkaar aan te passen dat traditionele choppers niet nodig zijn [4]. Hiervoor in de plaats komen andere typen DC/DC omvormers. Daarom, en vanwege het oriënterende karakter van de studie werd besloten geen chopper of andere DC/DC omvormer toe te passen.

### **3.4 Brandstofcel + accu + belasting (Digatron) (experiment 3, tabel 1)**

Deze experimenten zijn uitgevoerd met de combinatie brandstofcel/accu/Digatron (gekoppeld systeem onder statische/dynamische belasting). Hierbij is de Digatron installatie ingezet als statische/dynamische belasting. De brandstofcel (PEFC) en de accu (ca. 0% SOC) waren rechtstreeks op elkaar aangesloten zonder tussenschakeling van een diode of chopper (slechts een schakelaar t.b.v. de aan/afkoppeling (main breaker)). De Digatron installatie werd als belasting op het systeem aangesloten. Met de Digatron installatie werd stapsgewijs een belasting op het accu/brandstofcelsysteem aangelegd van 0 A tot 300 A (maximale stroom van de Digatron installatie). De respons van het gekoppelde systeem is te zien in figuur 2.



Figuur 2 Respons in stroomsterkte van de accu en brandstofcel op een stapsgewijze belasting van het accu/brandstofcelsysteem.

Bij 0 A belasting laadt de PEFC de accu op. Naarmate de belasting hoger wordt levert de PEFC meer stroom aan de Digatron installatie en minder aan de accu. Bij circa 55 A belasting laadt de PEFC de accu niet meer op en bij hogere belastingen leveren de PEFC en de accu beide stroom. Uit dit experiment blijkt dat de PEFC en de accu goed op elkaar zijn afgestemd. Beide leveren dynamisch een lineair stroomverloop als functie van de belasting.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Naar aanleiding van de testresultaten kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken:

- De integratie van een accu met een brandstofcel in één systeem kent als belangrijk probleem dat de spanningen en stroomspanningskarakteristieken van beide componenten meestal dermate verschillend zijn dat ze niet zonder meer aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Daarom is in het algemeen de toepassing van een DC/DC omvormer noodzakelijk. Doordat DC/DC omvormers in het algemeen voor één specifiek systeem worden ontworpen, zijn deze echter veelal duur en zeer specifiek in hun toepassingsmogelijkheden. Dit betekent dat ze zo mogelijk vermeden dienen te worden.
- Bij de testen bij TNO bleek dat de spanningen van de gekozen accu en de brandstofcel goed op elkaar waren afgestemd, waardoor het mogelijk was om de accu direct aan de brandstofcel te koppelen. Een DC/DC omvormer en ook een diode konden achterwege worden gelaten. De toepassing van een chopper of een andere DC/DC omvormer is daarom, mede vanwege het beperkte, oriënterende karakter van het onderhavige project niet getest.
- Bij de testen met brandstofcel en accu bij verschillende ladingstoestanden van de accu bleek in het begin een hoge stroom te lopen die automatisch afnam met toenemende SOC tot de gebruikelijke waarde van de nalaadstroom.
- Bij een dynamische test met toenemende belasting werd een lineair stroomverloop als functie van deze belasting gevonden. Geconcludeerd kan worden dat het mogelijk is om een brandstofcel direct te koppelen aan een accu, mits de spanningen van deze componenten goed overeenkomen.
- In de praktijk zal in het algemeen de brandstofcel en/of de accu via DC/DC omvormers gekoppeld worden aan een centrale leiding voor het transport van elektrische energie van en naar de verschillende componenten (bus bar). Omvormers zullen hier standaard worden toegepast, niet alleen om spanningsniveau's op elkaar aan te passen, maar ook voor fijnregeling van spanningen (bijv. een kleinere range), uit veiligheidsoverwegingen (bijv. bij kortsluitingen), om het (na)laden van de accu vanuit de brandstofcel te kunnen onderbreken, e.d. Voor de opbouw van dergelijke systemen is een multidisciplinaire aanpak met inbreng van elektrotechnische bedrijven en/of kennisinstituten (bijv. PML-Platformtechnologie) gewenst.
- Uit contact met specialisten blijkt dat de trend bestaat om dure en speciaal ontworpen choppers achterwege te laten door de aan te sluiten systemen zo te kiezen dat choppers niet nodig zijn. Dit is mede het geval door de ontwikkeling van andere meer geavanceerde en goedkopere typen DC/DC omvormers.

## 4.2 Aanbevelingen

Uit de experimenten in het onderhavige rapport bleek dat de batterijspanning en de spanning van de brandstofcel dermate goed overeen kwamen dat een DC/DC omvormer achterwege gelaten kan worden en dat de beide componenten direct parallel aan elkaar gekoppeld konden worden. Om een systeemkoppeling zonder DC/DC omvormer te kunnen maken, dienen de maximale en minimale toelaatbare spanningen van de batterij en de brandstofcel goed overeen te komen. Omdat dit in veel gevallen echter niet mogelijk is zullen veelal toch DC/DC omvormers nodig zijn. Het verdient daarom aanbeveling om vervolgonderzoek aan dit onderwerp te besteden.

In een vervolgfase zou hiertoe een eerste stap gezet kunnen worden samen met PML-PT en een eventuele inbreng van ECN door simulatie (van een deel) van het boordnet met een brandstofcel (1-5 kW) en een daarop aangepaste batterij inclusief de daarbij benodigde DC/DC omvorming, regeltechnische apparatuur e.d.

## 5 Referenties

- [1] M.J.E. Verschoor, D. Schmal  
Energiebesparing door toepassing van brandstofcellen op schepen  
TNO-rapportnr. : MW-R94/057a
- [2] D. Schmal, M.J.E. Verschoor, I.P. Barendregt  
Future applications of fuel cells on naval ships related to energy savings,  
1994 Fuel Cell Seminar, November 28 - December 1, 1994, San Diego,  
California.
- [3] C.E. Kluiters, D. Schmal  
Het testen van een 1 kW De Nora vaste polymeer elektrolyt brandstofcel  
voor toepassing op oppervlakteschepen. Deel 2. Eindrapport fase 1.  
TNO-rapportnr.: TNO-MEP-R97/124
- [4] Persoonlijke communicatie met de heer Vaessen (KEMA) en de heer Van  
Gelder (TNO-PML), mei 1998



## 6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

- TNO Defensieonderzoek  
Postbus 6006  
2600 JA Delft
- Koninklijke Marine  
Dienst Materieel  
Afdeling Maritieme Technologie  
Postbus 20702  
2500 ES Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. W.R. ter Veen	projectleider
Ing. C.E. Kluiters	projectmedewerker
Dr.Ir. D. Schmal	coördinator Elektrochemie


Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:


1 november 1997 – 31 juli 1998

Ondertekening:



14-9-'98

Ir. W.R. ter Veen  
projectleider



14-9-'98

Dr.Ir. D. Schmal  
coördinator Elektrochemie

Goedgekeurd door:



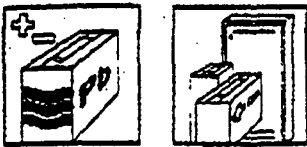
Drs. A.E. Jansen  
afdelingshoofd

# Technical characteristics of DNP units

## Bijlage A Specificaties brandstofcel en accu

	standard design (available)	improved design (end of 1995)	← 1 kW versie TOEGEPAST Bij DE COMBINATIE- TESTEN
design power			
voltage	5 kW	10 kW	
current	62 V (exp.) 81 A (exp.)	30 V 333 A	
anodic feeding			
cathodic feeding			
gas humidification			
operating pressure			
operating temperature			
cooling fluid			
stack weight			
stack volume			
membrane			
voltage efficiency			
number of cells			
power density			





04.03.01 0197 e

# VARTA bloc range

## Vb 12101...Vb 4118

### Application

VARTA bloc batteries are long life industrial batteries and were developed for universal use in reserve power supply equipment where there are high safety requirements. They are suitable for short discharge times at high currents and for capacitive discharge over longer periods. They are used as reserve power supplies in power stations, nuclear power stations, transformer stations, UPS and industrial equipment, safety power supply installations according to DIN VDE 0107 and DIN VDE 0108 and power storage in solar power installations.

### Construction

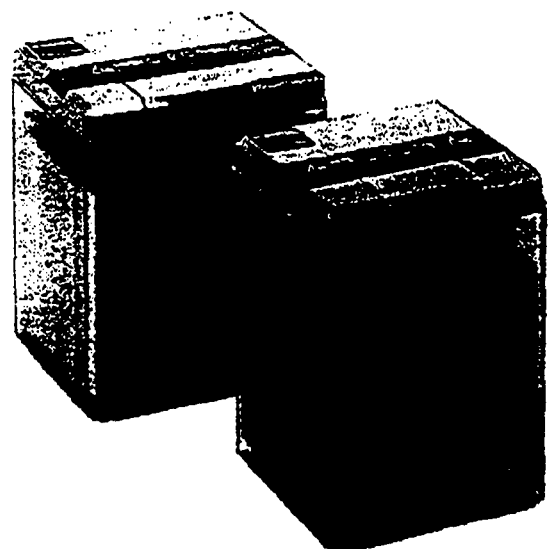
<b>Positive electrode</b>	Rod plate with VARTA-Selenium alloy (Sb-content: 1.6%)
<b>Negative electrode</b>	grid plate with lead calcium alloy
<b>Separation</b>	Micro-porous separator
<b>Casing Material</b>	Modified Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) with high impact resistance, transparent
<b>Electrolyte</b>	Dilute sulphuric acid, $d = 1.24 \text{ kg/l}$
<b>Terminal design</b>	Leakproof safety pole design with brass insert, M8
<b>Connectors</b>	Solid copper (20 x 3 mm), insulated, bolt-on type
<b>Vent plugs</b>	Safety plugs with flame arrester, optional ceramic vent plug
<b>Charging</b>	All charging procedures in accordance with DIN 41772 and DIN 41773 Float charge voltage: 2.23 volts/cell
<b>Temperature Range</b>	0...+55 °C (Preferred value 20 °C)

### Installation

All standard types of installation are permissible. Due to the improved energy density area required for installation is reduced. For use in earthquake zones special approved racking is available. When installing in battery rooms the safety provisions of DIN VDE 0510 Part 2 must be adhered to.

### Features

- 4V/6V/12V bloc batteries
- economical, universal use for all modes of discharge
- leakproof VARTA Safety Pole design, proven in operation
- VARTA-Safety vent plug with flame arrester, optional ceramic vent plug
- Maintenance free to DIN standards > 5 years in standby parallel operation
- Long service life due to VARTA Rod plate technology
- vent plug strip and grip slots integrated in cover, smooth sides, attractive design



Type designation	Type no.	Capacity [Ah] corresponding to DIN	C <sub>10</sub>	Capacity [Ah]					Inner resistance without connectors, loaded [mOhm/bloc]	Theoretical short circuit current [A]	Cell dimensions [mm]			Weight [kg]	
				C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	Final voltage U <sub>f</sub> /V			L	B	H*	bloc w. elec.	elec.
12 V bloc batteries															
Vb 12101	299 1810 611	18	20	19.2	17.8	16.1	12.1	27.9	430	221	176	277	23.1	5.9	
Vb 12102	299 1820 611	36	40	38.4	35.6	32.2	24.2	14.0	860	221	176	277	24.4	5.2	
Vb 12103	299 1830 611	54	60	57.6	53.4	48.3	36.3	9.3	1290	311	176	277	34.5	7.7	
Vb 12104	299 1840 611	72	80	76.8	71.2	64.4	48.4	6.8	1720	389	176	277	43.8	9.7	
Vb 12105	299 1850 611	90	100	96.0	89.0	80.5	60.5	5.6	2155	469	176	277	53.3	11.8	
Vb 12106	299 1860 611	108	120	115	107	96.6	72.6	4.7	2590	553	176	277	63.0	14.0	
6 V bloc batteries															
			1.30	1.75	1.80	1.79	1.74								
Vb 6114	299 3240 311	128	134	130	120	109	81.6	2.6	2360	284	229	332	42.8	13.2	
Vb 6115	299 3250 311	160	168	162	151	136	102	2.1	2953	284	229	332	47.0	12.1	
Vb 6116	299 3260 311	192	201	194	181	163	122	1.7	3540	284	229	332	51.3	11.3	
4 V bloc batteries															
Vb 4117	299 3270 211	224	235	227	211	190	143	0.97	4135	249	229	332	41.3	10.5	
Vb 4118	299 3280 211	256	268	259	241	218	163	0.85	4715	249	229	332	44.3	10.1	

Project planning data

further data please see chapter 05

U<sub>f</sub> ≈ 1.75 V/cell      Discharge currents in Ampere

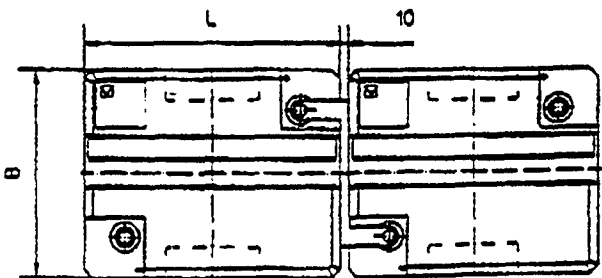
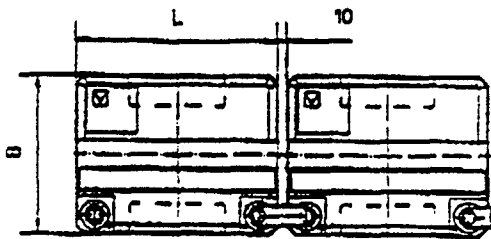
Type	30"	1'	2'	3'	5'	7'	10'	15'	20'	30'	1h	2h	3h	5h	8h	10h
Vb 12101	51.8	51.8	49.1	45.7	40.4	36.6	32.4	27.3	23.7	18.8	12.0	7.3	5.3	3.5	2.4	2.0
Vb 12102	104	104	98.2	91.4	80.8	73.2	64.8	54.6	47.4	37.6	24.0	14.6	10.6	7.0	4.8	4.0
Vb 12103	155	155	147	137	121	110	97.2	81.9	71.1	53.4	36.0	21.9	15.9	10.5	7.2	6.0
Vb 12104	207	207	196	183	162	146	130	109	94.8	75.2	48.0	29.2	21.2	14.0	9.6	8.0
Vb 12105	259	259	246	229	202	183	162	137	119	94.0	60.0	36.5	26.5	17.5	12.0	10.0
Vb 12106	311	311	295	274	242	220	194	164	142	113	72.0	43.8	31.8	21.0	14.4	12.0
Vb 6114	268	268	268	254	234	217	196	170	150	123	80.8	49.8	36.4	24.1	16.2	13.4
Vb 6115	335	335	335	318	293	271	245	212	188	154	101	62.2	45.5	30.1	20.3	16.7
Vb 6116	402	402	402	382	352	325	294	254	226	185	121	74.6	54.6	36.1	24.4	20.0
Vb 4117	469	469	469	445	410	379	343	297	263	216	141	87.1	63.7	42.1	28.4	23.4
Vb 4118	536	536	536	509	469	434	392	339	301	246	162	99.5	72.8	48.2	32.5	26.7

The electrical values shown in the table relate to loadings from a fully charged condition and an ambient temperature of +20° C. In the project planning data table connector losses are taken into account.

\*Height includes connectors.

Vb 12101 - Vb 12106  
Vb 4117 - Vb 4118

Vb 6114 - Vb 6116



REPORT DOCUMENTATION PAGE (MOD-NL)		
1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) 980352	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER R 98/268
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 28563	5. CONTRACT NUMBER A97/KM/149	6. REPORT DATE 14-09-1998
7. NUMBER OF PAGES 20	8. NUMBER OF REFERENCES 4	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED final report
10. TITLE AND SUBTITLE Het testen van een 1 kW De Nora vaste polymeer elektrolyt brandstofcel in combinatie met een loodzwavelzuuraccu. Eindrapport (Testing of a 1kW De Nora solid polymer electrolyte fuel cell in combination with a lead acid battery. Final report)		
11. AUTHOR(S) C. E. Kluiters, W.R. ter Veen, D. Schmal		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation P.O. Box 342 7300 AH Apeldoorn The Netherlands		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence Research, P.O. Box 6006 2600 JA Delft The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES Unclassified		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE) The development of fuel cells for traction accelerated the last years because of severed emission demands for road vehicles. Because of these rapid developments a commercial application in 5 to 10 years is feasible which means that the fuel cell can be used for the generation of electric energy on board of naval ships currently being developed. In the application of fuel cells and the integration in a ship's system, the combination with a battery is important. To get insight in the possible problems involved, TNO has carried out orientating tests with a fuel cell/battery combination. The underlying report describes the results. The tests carried out are related to charging of the battery with the fuel cell (at various initial states of charge of the battery) and taking a continuously increasing power out of the fuel cell/battery combination. No tests with a DC/DC converter have been carried out so far, because battery and fuel cell voltage were adapted to each other and because of the orientating character of the study. The tests show that this is possible without any problems. However, in practice, DC/DC converters will generally be required for various reasons. Therefore further development and testing of this combination, including DC/DC converters, control equipment etc. is advised.		
16. DESCRIPTORS Fuel cells IDENTIFIERS Polymer electrolyte fuel cell Batteries Lead Acid Battery DC/DC converters		
17a SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) -	17b SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) -	17c SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) -
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) -

# **Distributielijst TNO-MEP rapport R 98/268**

	Aantal
DWOO	1
HWO-CO	1
HWO-KM	1
HWO-KL	1
HWO-KLu	1
DMKM/afd. MT t.a.v. ir.l.P. Barendregt	5
TNO-DO	1
TNO-PML t.a.v. Ir. P. van Gelder	1
KIM t.a.v. prof.ir. D. Stapersma	1
Bibliotheek KMA	3